

A foszforsav biológiai átalakulása közepes humusrétegű csernozjom talajban

FÁBRY GYÖRGYNÉ

OMMI Talajtani Osztály, Budapest

Az agrokémiai kutatás egyik központi témája a műtrágyázás. A műtrágyázás keretén belül a legproblematisabb tápanyag kétségtelenül a foszforsav. Rendkívül lényeges, hogy korszerű, dinamikus módszerekkel vizsgáljuk a növényeknek egy meghatározott termésszint eléréséhez szükséges foszforsav mennyiségét és a talaj tápanyagutánszolgáltató képességét. A foszforsav mennyiségénél figyelembe kell vennünk más tápanyagokhoz való arányát és a különböző foszforformák egyensúlyi viszonyait. Az ilyen egységes szemléletről nem maradhat ki a talaj szerves foszforának, megoszlásának és ásványosodásának kérdése sem (KAILA [8]).

A talajban levő szerves foszfor főleg fitin, fitinszármazékok és nukleinsavhoz hasonló vegyületek alakjában van jelen. A két szerves foszforfrakció kalciumhidroxiddal kvantitatíve elválasztható (BOWER [5]). A kalciumhidroxiddal kicsapódott frakció fitáz enzimet tartalmazó korpakivonattal ásványosodik, de a fitáz enzimet nem tartalmazó kukoricagyökérrel való kezelésnél nem. Az átszűrődött frakció azonban a korpakivonattól is és a kukoricagyökérrel való kezeléstől is ásványosodik, mert mindkettőben van nukleáz enzim. Nátriumhipobromittal a két frakció eltérően viselkedik: a fitin igen ellenálló, a nukleinsav defoszforizálódik.

Az elválasztás nem elegendő a pozitív azonosításhoz, de a két frakció defoszforizáló hatásokkal szemben való eltérő viselkedése azt mutatja, hogy a kicsapott frakció főként fitint és származékait, az átszűrődött frakció pedig nukleinsav-féleségeket tartalmaz, amint azt PEARSON és munkatársai [10] megállapították.

Az elválasztásnál BOWER [5] szerint a talajkivonatban levő inositol — monofoszfát is átszűrődik, mivel ez a származék nem alkot oldhatatlan sókat a kalciummal. YOSHIDA [14] és BOWER [5] kutatásai szerint azonban a talajban rendkívül kevés inositol-monofoszfát van. PEDERSON [11], valamint WRENSHALL és DYER [13] úgy találták, hogy a fitin oldhatatlan ferri és alumíniumsókat képez, melyek a fitáz enzim defoszforizáló hatásával szemben ellenállók. ANDERSON [1] szerint a fitin trifoszfát származéka nem alkot oldhatatlan sókat vassal, alumíniummal, BOWER [4] szerint azonban a származék vas és alumíniumvegyületek által adszorbeálódik a talajban és a növények számára felhasználhatatlanná válik.

A fitin foszfor felhasználhatóságának a tanulmányozása irányította a figyelmet arra, hogy a felhasználhatóság szoros összefüggésben van a megkötődéssel. A talajba adott, növények által felvehető foszfor (fitin) fordított viszonyban van a talaj által megkötött foszforral (BOWER [4, 5]). A nukleinsav foszfor defoszforizálódását is sokan vizsgálták (BERTRAMSON és STEPHENSON [2], DYER

és WRENSHALL [6], PEARSON [10]). Pearson és mások azt tapasztalták, hogy az élesztőből nyert nukleinsavak és nukleotidák a talajbavitel után 5 napon belül defoszforizálódtak és a pH-nak csak gyenge hatása mutatkozott. DYER és WRENSHALL kísérletei szerint a nukleinsavak és nukleotidák 60–80%-a defoszforizálódott, azonban 5,5 pH-nál savanyúbb talajokban csak 50% táródott fel.

A talajba juttatott nukleinsav foszforának nagyobb része könnyen szabadul fel szervesetlen alakba. BOWER szerint 75–80% volt a legnagyobb defoszforizálódási érték, nagyon savanyú talajban 50 vagy ennél kisebb %-ú.

A szervesetlen foszfor megkötődése és a szerves foszfor ásványosodásának az aránya befolyásolja a növény számára rendelkezésre álló foszfor mennyiségét.

A mikrobiológiai tevékenység fokozhatja a talajban a foszfor felszabadulását a természetes, illetve a trágyázás folyamán visszamaradt foszforformákból (STANFORD [12]). A felvehető nitrogénnel és egyéb tápanyagokkal történő ellátás, a talaj pH-ja és a levegőzöttség biztosításával elő lehet segíteni, hogy a foszforelbomlás előrehaladásával korábbi szabaddá váljon.

Azt azonban nem lehet megmondani, hogy mennyi időnek kell eltelnie, amíg a foszfor lekötődése helyett ásványosodása kerül túlsúlyba. Az ásványosodás egyik tényezője a szén : foszfor arány, azonban ennek az ismerete még nem adott módot az időtartam megbecsülésére (BLACK és GORING [3]).

Az érlelési kísérletek folyamán az aránylag magas hőmérséklettel kedvező viszonyokat teremtünk a szerves foszfor ásványosodására (EID, BLACK és KEMPTHORNE [7]). A kísérletek folyamán több talajban észlelt nagy szerves foszforásványosodás nem várható. Azonban ha kisebb hőmérsékleten néhány milliomod rész ásványosodik a szerves foszforból, az elég arra, hogy a növények foszforszükségletének jelentős részét kielégítse.

Az érlelési kísérletek célja, hogy a különböző talajoknak azt a szerves foszfor tartalmát, amely ásványosodik, megállapíthassuk és ezáltal a talaj foszforállapotáról, az illető talajon a foszforszükségletről teljesebb képünk lesz.

A fenti irodalmi adatok ismeretében vizsgálataink célja az volt, hogy az érlelési kísérletek hatására hazai csernozjom talajainkban milyen átalakulás következik be a talajok foszfor állapotát illetően.

Anyag és módszer

Vizsgálataimhoz egy közepes humusrétegű csernozjom talajt választottam ki, amelynek helyszíni vizsgálati adatait és kémhatás jellemzőit az 1. táblázatban foglaltam össze. A kiválasztott talajszelvény Budaörsről, közel két évtizede

1. táblázat

A kísérleti talaj helyszíni vizsgálati adatai és kémhatása

(1) A szelvény száma, típusa	(2) Genetikai szint	(3) Mélység cm	(4) Szín	(5) Fizikai talajjelleg	(6) Szerkezet	CaCO ₃	(7) Kém- hatás	(8) Kon- krécio
1. Közepes hu- musrétegű csernozjom, agyagos márgán	A	0–18	barna	vályog	apró morzsás	pezseg	lúgos	Ca folt Fe Ca
	B	18–40	barna	vályog	morzsás	pezseg	lúgos	
	BC	40–76	barna- sárga	vályog	diós	pezseg	lúgos	
	C	76–150	szürkés- sárga	agyagos vályog	diós	pezseg	lúgos	

ugaron tartott, gyeplől származik. A talajmintákkal az alábbi vizsgálatokat végeztem el:

a) Alapvizsgálatokat, melyek a helyszíni felvételezéssel együtt jellemezték a talajokat.

b) A mechanikai elemzést elvileg Dworák—Várallyay szerint azzal a módosítással végeztem, hogy a 2. táblázatban szereplő frakciókat határoztam meg. A táblázatban az A és B szint szemese-frakcióit tüntettem fel.

2. táblázat

A kísérleti talaj A, B szintjének mechanikai összetétele

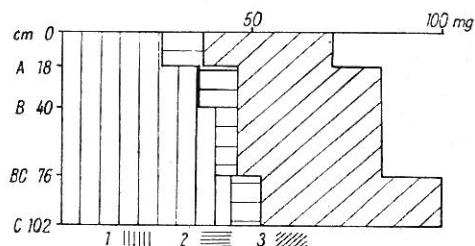
(1) Genetikai szint	100 μ %	50–100 μ %	5–50 μ %	2–5 μ %	2 μ %
A	9,63	35,92	35,40	9,80	9,25
B	6,27	28,03	41,95	14,30	9,45

c) A szerves foszfort BOWER [4] módszerének elve alapján kisebb módosításokat eszközölve vizsgáltam. A módszer lényegében kivonásos módszer, a lúgos kezelést MEHTA [9] módszerével háromszor alkalmazom: szobahőmérsékleten, 90 és 120° C-on. A szerves foszfor két frakcióját BOWER [5] szerint azon az alapon választottam el, hogy a fitin és származékai kalciummal oldhatatlan sókat képeznek, a nukleinsavak, ill. a nukleotidák viszont nem.

d) A szerves foszfor savat a szerveskötésű foszfor sav vizsgálatánál nyert oldatokból határoztam meg.

e) Az összes foszfor sav meghatározása az izzított talajból királyvízzel történt.

Mindháromféle foszfor sav vizsgálati adatai abszolút mennyiségben az 1. ábrában találhatók.



1. ábra

A kísérleti talaj szerves, szerves (fitin, nuklein) foszfortartalma. A diagram függőleges részén a szelvény mélysége és a genetikai szintek, a vízszintes részen pedig a foszfortartalmak mg-ban.

1: Szerves foszfor sav. 2: Szerves foszfor sav; fitin. 3: Szerves foszfor sav; nuklein.

f) A szerves foszfor savat kifejeztem az összes foszfor %-ában, a kapott eredményeket a 2. ábra szemlélteti.

g) A szerves foszfor sav két főfrakcióját az összes foszfor %-ában a 3. ábra mutatja.

Az A szint ásványosodásának vizsgálatára három érlelési kísérletsorozatot állítottam be:

h) Az első az anaerob érlelési kísérlet, amelynél az inkubáció anaerob körülmények között 30 napig, 28° C-on, hatféle kezelésben történt:

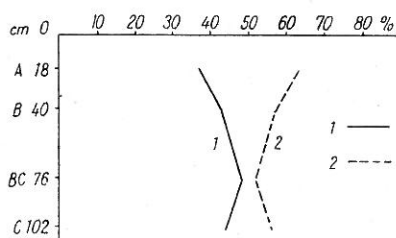
Kezelés:	N/mg	P ₂ O ₅ /mg	Cukor/g
1.	2,0	Ø	1,0
2.	6,0	Ø	1,0
3.	2,0	2,0	Ø
4.	6,0	2,0	Ø
5.	2,0	2,0	1,0
6.	6,0	2,0	1,0

Az érlelés folyamán végbement szervetlen és szerves (fitin, nuklein) foszforsav változásokat a 4. ábra foglalja magába. Az eredeti és az érlelés utáni szervetlen, szerves (fitin, nuklein) foszforsav mennyiségeket az összes foszfor 0/0-ában a 7. ábra szemlélteti.

i) A második az aerob 8 napos érlelési kísérlet, amelynél az inkubációt aerob körülmények között 8 napig, 28° C-on, kilencféle kezelésben végeztem:

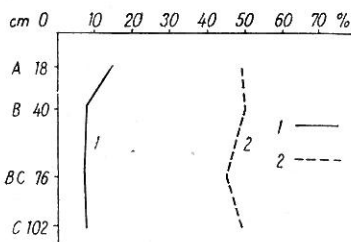
Kezelés:	N/mg	P ₂ O ₅ /mg
1.	Ø	Ø
2.	2,89	Ø
3.	8,68	Ø
4.	Ø	2,08
5.	2,89	2,08
6.	8,68	2,08
7.	Ø	6,25
8.	2,89	6,25
9.	8,68	6,25

A kezelésekhez használt nitrogén, foszforsav és cukor mennyiségeket a K_A szám felének megfelelő desztillált vízzel kevertem a talajokhoz, az adagok 100 g (száraz) talajra vonatkoznak. Trágyázó oldatok: NH₄NO₃ és KH₂PO₄. Az előbbi 1000 ml-ben 2,857 g NH₄NO₃-ot, az utóbbi 1,917 g KH₂PO₄-ot tartalmazott. A 2,89 mg-os nitrogén-adag kb. 200 kg, a 8,68 mg-os adag kb. 600 kg 250/0-os pétisónak megfelelő. A 2,08 mg-os foszforsavadag kb 200 kg, a 6,25 mg-os adag kb. 600 kg 180/0-os szuperfoszfátnak felel meg.



2. ábra

A kísérleti talaj szervetlen, szerves foszfortartalma az összes foszfor 0/0-ában. 1: Szervetlen foszforsav. 2: Szerves foszforsav.



3. ábra

A kísérleti talaj fitin, nuklein foszfortartalma az összes foszfor 0/0-ában. 1: Fitin foszfor. 2: Nuklein foszfor

Az érlelés folyamán történt szervetlen, szerves (fitin, nuklein) foszforsav változásokat az összes foszfor $\%$ -ában az 5. ábra foglalja magában. Az eredeti és az érlelés utáni szervetlen, szerves (fitin, nuklein) foszforsav mennyiségeket az összes foszfor $\%$ -ában a 8. ábra szemlélteti.

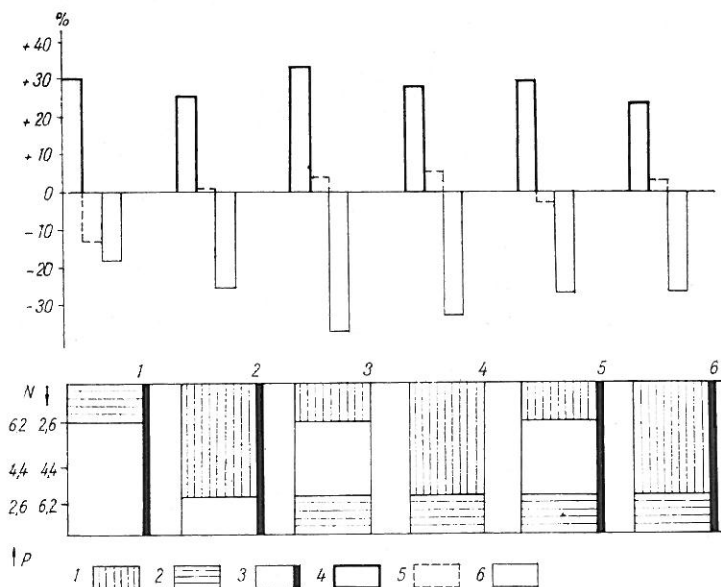
j) A harmadik az aerob 40 napos érlelési kísérlet, amelynél az inkubáció aerob körülmények között 40 napig, 28°C -on, az előző sorozattal megegyező kilencféle kezelésben ment végbe.

Az érlelés folyamán végbement változásokat a 6. ábra, az eredeti és az érlelés utáni foszfor mennyiségeket pedig az összes foszfor $\%$ -ában a 9. ábra tünteti fel.

Az eredmények értékelése

Az 1. táblázat szerint a kísérleti talaj közepes humusrétegű csernozjom lúgos kémhatású agyagos vályog, illetve B szinttől agyag. Legerősebben meszes, B szintje. Szódára számított lúgossága és vízben oldható összes sótartalma nem számottevő.

A 2. táblázat a kísérleti talaj A és B szintjének mechanikai elemzési adatait mutatja. Az A szint és a B szint szemcsefrakciója eltérő megoszlású: az A szintben több a 100μ -nél nagyobb és az $50\text{--}100\mu$ átmérőjű szemcsefrakció, mint a B szintben. Viszont a B szintben az A szinthez képest az $5\text{--}50$, a $2\text{--}5\mu$ átmérőjű frakciók mennyisége nagyobb. A 2μ -nél kisebb átmérőjű frakció pedig a két szintben közel azonos nagyságú.



4. ábra

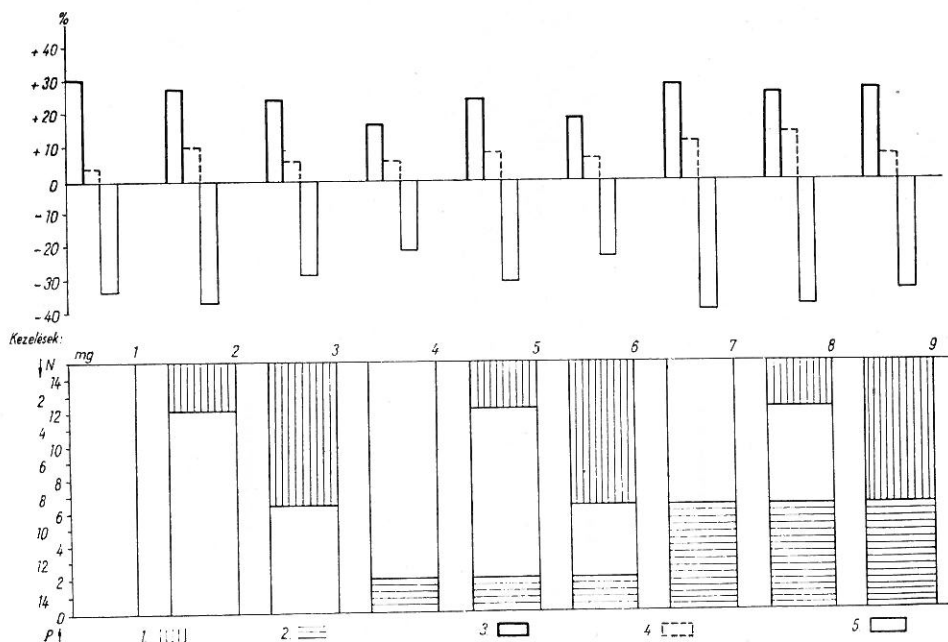
Az anaerob érlelési kísérlet kezelése és a foszforsav frakcióinak változása az összes foszfor $\%$ -ában. Függőleges részen a foszfor $\%$ -ok, vízszintes részen az egyes kezelések hatására bekövetkezett foszforfrakció változások. A foszforfrakciók változásait feltüntető ábra alatt a változásokat előidéző kezelések szerepelnek. 1: Nitrogén. 2: Foszfor. 3: Cukor. 4: Szervetlen foszforsav. 5: Fitin foszfor. 6: Nuklein foszfor

Az 1. ábra a különböző foszforformák szelvényen belüli megoszlását szemlélteti. Az összes és a szerves foszfor a szelvény mélységével nő, a szerves foszfor pedig a B és C szintben több, mint az A és a BC szintben. A szerves foszfor nagyobb része nukleinsavhoz kötött, kisebb része fitin foszfor.

A 2. ábra szerint a szerves foszfor a BC szintig növekvő, a C szintben csökken. A szerves foszfor a BC szintig csökken és a C szintben növekvő tendenciájú.

A 3. ábra a fitin és a nuklein foszfor megoszlását mutatja. A fitin foszfor, úgy mint a szerves foszfor, a BC szintig csökkenő és a C szintben valamivel több. A legtöbb fitin foszfor az A szintben. A nuklein foszfor megoszlása abszolút és relatív mennyiség tekintetében egyaránt hasonló. Az A és a BC szintben kevesebb, mint az alattuk levő szintekben, de az abszolút mennyiségekben az eltérések nagyobbak, mint a relatív mennyiségekben.

Az eredeti talajban az összes foszfor 36,77%-a szerves és 63,22%-a szerves foszfor. Tehát a közel két évtizedes ugaron tartás a szerves foszfor felhalmozódásának kedvezett. Ez a talaj — amelyben természetes viszonyok között nagy mennyiségű szerves foszfor stabilizálódott — különösen alkalmas arra, hogy a szerves foszfor ásványosodási körülményeit, mértékét és ütemét tanulmányozzuk. E célból állítottam be az előző fejezetben leírt három érlelési kísérletsorozatokat.



5. ábra

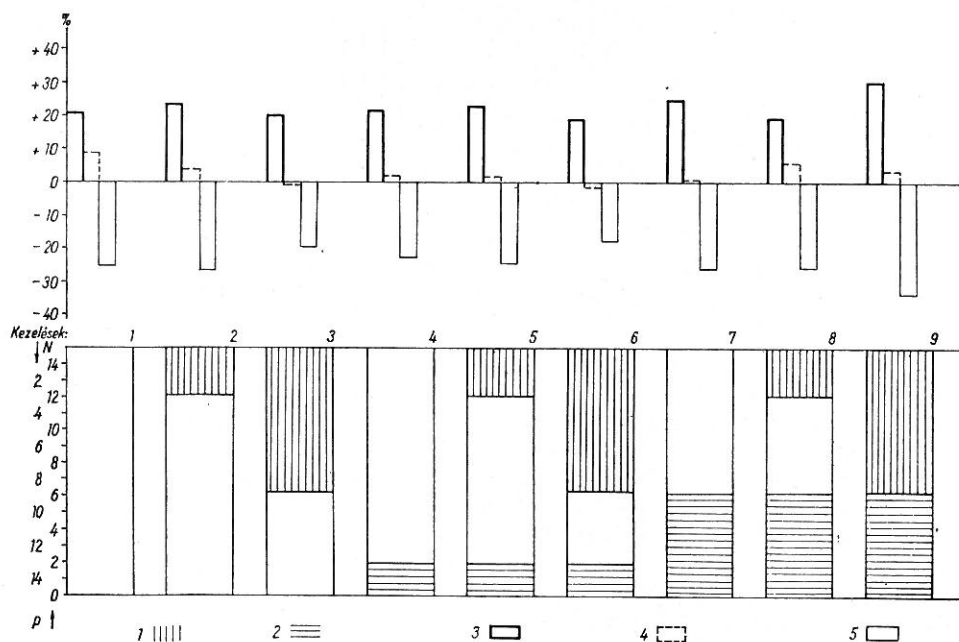
Az aerob 8 napos érlelési kísérlet kezelése és a foszforfrakcióinak változása az összes foszfor 100%-ában. Az ábra szerkesztése a 4. ábrával megegyező. 1: Nitrogén. 2: Foszfor. 3: Szerves foszfor. 4: Fitin foszfor. 5: Nuklein foszfor

Az anaerob érlelési kísérletben a szerves foszforsav növekedése az összes foszfor $\%$ -ában 23,29—33,19%, a 8 napos aerob kísérletben 16,37—30,20% a 40 napos aerob kísérletben pedig 19,18—30,28%.

Az egyes kezelések különbségei leginkább az aerob 8 napos érlelésnél jelentkeztek. A 8 és 40 napos aerob érlelési kísérletek szerves foszforsav növekedései pedig azt mutatják, hogy a biológiai átalakulás lényegében 8 nap alatt lezajlott. Az érleléseknél az ásványosodás és a szintézis párhuzamosan játszódó folyamatok. P^{32} nélküli vizsgálatokkal csak a két folyamat különbségét határozhatjuk meg. Az ásványosodott foszforsav tehát az ásványosodott nuklein foszfor és az ásványosodott, illetve szintetizált fitin foszfor összege.

A nuklein foszforsav mind a három érlelési kísérletben ásványosodott. A fitin foszfor a 8 napos aerob érlelési kísérletben mind a kilenc kezelésnél szintetizált, a másik két érlelési kísérletben 2—2 kezelésnél ásványosodott, de a többinél ugyancsak szintetizált.

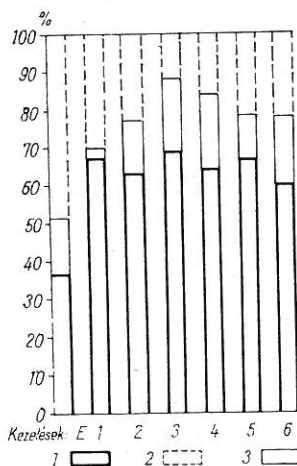
Az anaerob érlelésnél a szerves foszfor ásványosodásának csökkenő sorrendje kezelések szerint: 3., 1., 5., 4., 2., 6. Ennél az érlelésnél a szerves foszfor ásványosodásának tényezői: a nitrogén : foszforsav arány és a cukor. Arányban jobb a szűk, mutatják ezt a 3., 1., 5. kezelések. Ha az arány tágul, ill. eltolódik, az ásványosodás csökken, ezt láthatjuk a 4., 2., 6. kezeléseknél. Azonos arányokon belül jobbak a cukor nélküli érlelések (3., 5. kezelés). Legtöbb szerves foszforsav ásványosodik szűk nitrogén : foszforsav aránynál cukor nélkül és legkevesebb tág aránynál cukor jelenlétében, a különbség az összes foszfor $\%$ -ában 9,90% (4., 7. ábra).



6. ábra

Az aerob 40 napos érlelési kísérlet kezelési és a foszforsavfrakciók változása az összes foszfor $\%$ -ában. Az ábra szerkesztése a 4. ábrával megegyező. 1: Nitrogén. 2: Foszforsav. 3: Szerves foszforsav. 4: Fitin foszforsav. 5: Nuklein foszforsav

Az aerob 8 napos érlelési kísérletben szerves anyagot nem adtam a talajokhoz. A kezelések hatására történt szerves foszfor ásványosodás csökkenő sorrendje kezelésként: 1., 7., 9., 2., 8., 3., 5., 6., 4. A szerves foszfor ásványosodásának a tényezője ebben a kísérletben szintén a nitrogén: foszforsav arány. Az eredeti talaj nitrogén: foszforsav aránya nagyon jónak bizonyult, mert a szerves foszfor hőmérséklet és benedvesítés hatására ásványosodott legnagyobb mértékben (1. kezelés). További kezeléseknél a nagyadagú foszforsav, valamint a nagyadagú nitrogén és foszforsav szűk aránya bizonyult jónak, amint azt a 7., 9. kezelésnél láthatjuk. Ez azt jelenti, hogy az aerob és az anaerob érlelések ásványosodásában a nitrogén : foszforsav arány azonos tényezők, de a két tápanyag abszolút mennyisége más, ami kifejezésre juttatja, hogy nemcsak a bevitt tápanyagok aránya, de azok abszolút mennyisége is jelentős tényező a szerves foszforsav ásványosodásánál. A tápanyagok arányának és abszolút mennyiségük-



7. ábra

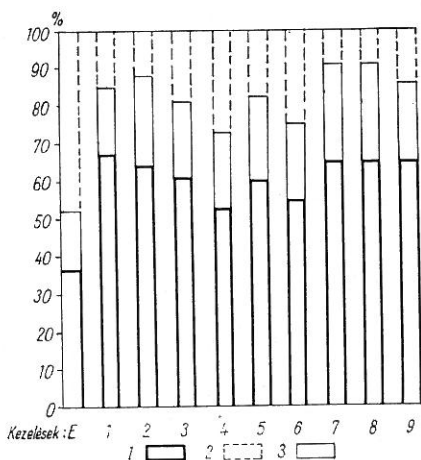
A kísérleti talaj eredeti és érlelés utáni (anaerob) szervetlen és szerves (fitin, nukleín) foszfortartalma az összes foszfor $\%$ -ában. Függőleges részen a foszfor $\%$ -ok, vízszintes részen az eredeti talaj (E) és a kezelések 1: Szervetlen foszforsav. 2: Nukleín foszforsav. 3: Fitin foszforsav

nek a változása csökkenti az ásványosodást. A három legkedvezőtlenebb kezelés : szűk arány kis abszolút mennyiségekkel, tág arány a nitrogén felé eltolódva és a kis abszolút mennyiségű foszforsav (5., 6., 4. kezelés).

Az aerob 40 napos érlelés a szerves foszfor mennyiségében szintén változásokat eredményezett. Az érlelés folyamán történt változások a szerves foszforsavnál az ásványosodás sorrendjében: 9., 7., 2., 5., 4., 3., 1., 8., 6. Ennél az érlelési kísérletnél ugyancsak a nitrogén : foszforsav arány és a bevitt tápanyagok abszolút mennyiségei befolyásolták az ásványosodást. Legjobbnek bizonyultak a szűk arány nagy abszolút nitrogén és foszformennyiségei (9., 7. kezelés) és ez a 40 napos érlelésnél jobban kidomborodik, mint a 8 napos érlelésnél. A tág nitrogén : foszforsav arányoknál ásványosodott legkisebb mennyiségben a foszforsav (8., 6., kezelés). Az hogy az arány a nitrogén vagy a foszforsav felé tolódott-e el, kevés különbséget jelentett (0,32 $\%$, 6., 9. ábra).

A szerves foszforsav ásványosodott része tulajdonképpen a két fő frakciójának biológiai átalakulásából eredt. Meg kell vizsgálnunk tehát külön-külön az egyes frakciók érlelés folyamán történt változásait. Az érlelés mindkét frakcióban párhuzamosan halad a szintézis és az ásványosodás folyamata; a vizsgálatokkal azt tudjuk meghatározni, amelyik folyamat túlsúlyba jutott. Végeredményben az egyes frakciókra úgy is az a folyamat jellemző, amelyiknél túlsúlyba jutott.

Az eredeti talajban a szerves foszforsav nagyobb része nuklein foszfor, az összes foszfornak 48,56%-a, a fitin foszfor csak 14,66% az összes foszfor %-ában. Az érlelés folyamán is a nuklein foszforsav átalakulása nagyobb, a fitiné kisebb, ami azt fejezi ki, hogy az eredeti mennyiségek és az érlelés folyamán az átalakulásban résztvevő mennyiségek arányosak.



8. ábra

A kísérleti talaj eredeti és érlelés utáni (8 napos aerob) szervetlen és szerves (fitin, nuklein) foszfortartalma az összes foszfor %-ában. 1: Szervetlen foszforsav. 2: Nuklein foszforsav. 3: Fitin foszforsav.

Az anaerob érlelési kísérletben az 1. és az 5. kezelésnél csökkent a fitin foszfor mennyisége (ásványosodás), a többi kezelésnél szintetizálódott. A fitin foszfor ásványosodásának csökkenő, szintézisének növekvő sorrendje kezelésként az alábbi: 1., 5., 2., 6., 3., 4.

A két legnagyobb szintézist mutató kezelésnél a talajok nem kaptak cukrot. A fitin foszfor ásványosodásánál tehát lényeges szerepe van a cukornak. A nagyadagú nitrogén, a nagy vagy kisadagú nitrogén mellett a foszforsav a szintézist fokozza, főleg cukor nélkül (5,47%). Ezt bizonyítják a 2., 6., 3., 4. kezelések.

A két ásványosodást előidéző kezelésnél kisadagú nitrogént, szervesanyagot vittem a rendszerbe és a két kezelés között a foszfor jelenléte, ill. hiánya a különbség.

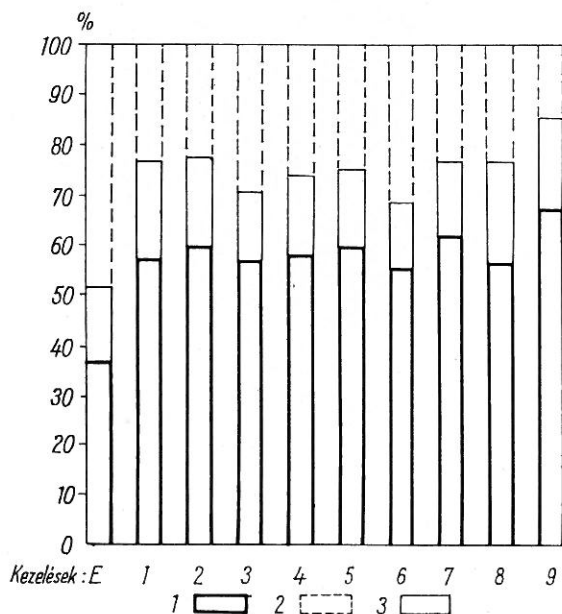
Az aerob 8 napos érlelési kísérletben csak a szintézist és annak tényezőit vizsgálhatjuk a fitin foszfornál, tekintve, hogy ennél az érlelési kísérletnél a fitin

nem defoszforizál. A fitin foszforsav szintézise 3,22–13,05%, növekvő sorrendje kezelésként: 1., 4., 3., 6., 9., 5., 2., 7., 8.

A legkisebb szintézis hőmérséklet és benedvesítés hatására következett be. A kisadagú foszforsav (4. kezelés) és nagyadagú nitrogén (3. kezelés) alkalmazása szintén kismértékű szintézist eredményezett. A nagyadagú nitrogén fokozza a szintézist, kis foszforadag mellett kevésbé (6. kezelés), mint nagy foszforadag mellett (9. kezelés). Nagyobb volt a szintézis a magában adott nagy foszforsavnál (7. kezelés), főként ha kevés nitrogént is adtam (8. kezelés).

A szintézis tényezője tehát a nitrogén : foszforsav arány, mégpedig a tág arány, amelyben a foszforsav abszolút mennyisége nagy (7., 8. kezelések). A foszforsav mennyisége lényeges tényező a fitin szintézisének, amit bizonyít az is, hogy már a kisadagú foszfor magában is szintetizál 5,20% fitint (4. kezelés) az összes foszfor %-ában. A nagyadagú foszfor pedig egymagában 10,93%-kal növeli a fitin foszfor mennyiségét (7. kezelés).

A 40. napos aerob érlelési kísérletben csak a 6. és a 3. kezelésnél defoszforizál a fitin (0,48–1,45%), a többi kezelésnél szintézis következett be. Ebben az érlelési kísérletben a fitin ásványosodásának csökkenő, szintézisének növekvő sorrendje kezelésként: 6., 3., 7., 5., 4., 2., 9., 8., 1.



9. ábra

A kísérleti talaj eredeti és érlelés utáni (40 napos aerob) szervetlen és szerves (fitin, nuklein) foszfortartalma az összes foszfor %-ában. 1: Szervetlen foszforsav. 2: Nukleín foszforsav. 3: Fitin foszforsav

A nagy foszforsav adag magában is, de nagy és kis nitrogén adag mellett is a fitin foszforsavnál szintézist okozott. A kis foszfor adag szintén sem magában, sem kis nitrogén adag mellett nem kedvezett az ásványosodásnak. Az ásványosodást tág nitrogén : foszforsav arány, melyben a nitrogén abszolút mennyisége nagy és a magában adott nagy abszolút mennyiségű nitrogén, eredményezte.

A fitin foszfor ásványosodását az anaerob érlelési kísérletben a cukor és a kisadagú nitrogén befolyásolta kedvezően. Az aerob 40 napos érlelésnél az ásványosodás pozitív tényezője a nitrogén nagy abszolút mennyisége. A fitin foszfor szintézisét az anaerob érlelésnél a cukor hiánya, a két aerob érlelésnél pedig a foszforsav nagy abszolút mennyisége fokozza. Az anaerob érlelési kísérletben legnagyobb szintézist mutatott a 3., 4. cukornélküli kezelés, a két aerob érlelési kísérletben a 7., 8., 9. kezelés. A 7. kezelésnél nagy adagú foszforsav hatására indul meg a szintézis, a 9. kezelésnél szűk a nitrogén : foszforsav arány, de nagyadagú a foszforsav, a 8. kezelésnél tág az arány, de a foszforsav javára.

Érdekes összehasonlítani pl. a két aerob érlelési kísérlet 8. kezelését (tág nitrogén : foszforsav arány, nagy abszolút foszforsav mennyiséggel), mely a 8 napos érlelésnél a fitin legnagyobb szintézisét eredményezte: 13,05%-ot, ugyanez a kezelés a 40 napos inkubációnál csak 6,06% fitin foszfort szintetizált.

Az eredeti talajban a szerves foszfor két főfrakciója közül a nukleín foszfor volt a több, az érlelés folyamán is a nukleín foszforsav ásványosodott jobban. Valamennyi kezelési mód csökkentette a nukleín foszfor mennyiségét.

Az anaerob érlelési kísérletben a nukleín foszfor ásványosodásának csökkenő sorrendje kezelésként: 3., 4., 5., 6., 2., 1.

Az ásványosodást elsősorban a cukor hiánya eredményezte. A legnagyobb az ásványosodás szűk nitrogén : foszforsav arány esetén cukor nélkül: 36,96%, amint ezt a 3. kezelés mutatja. Ugyanez az arány cukorral 10,04%-kal kevesebb nukleinsavat defoszforizált. A tág nitrogén : foszforsav arány cukor nélkül 32,86% nukleín foszfort ásványosított (4. kezelés), cukorral 6,41%-kal kevesebbet (6. kezelés). Az ásványosodásra kedvezőtlenül hatottak tehát azok a kezelések, amelyekbe cukrot vittem be, de foszforsavat nem (1., 2. kezelés).

A 8 napos aerob érlelésnél a mineralizálódott foszforsav kizárólag a nukleín foszforsavból származik, tekintve, hogy a fitin foszfor ebben az érlelési kísérletben csak szintetizált. Azonban annak ellenére, hogy a mineralizált foszforsav egyedül a nukleín foszforból származott, a szerves foszforsav és a nukleín foszforsav ásványosodási sorrendje nem azonos, aminek oka a fitin foszfor szintézisének kezelésként változó nagysága. Ebben az érlelési kísérletben a nukleín foszfor 39,17—21,57% között ásványosodott kezelésként a következő csökkenő sorrendben: 7., 8., 2., 9., 1., 5., 3., 6., 4.

A legtöbb nukleín foszfor ásványosodott a nagyadagú foszforsavnál (7. kezelés), ha a nagyadagú foszforsav mellett kisadagú nitrogént is adtam, már csökkent az ásványosodás (8. kezelés). Az aerob 8 napos érlelési kísérletben az ásványosodást elősegítő legfőbb tényező tehát a foszforsav nagy abszolút mennyisége és csak másodsorban a nitrogén : foszforsav arány. A nukleín foszforsav legjobban ásványosodott nagy abszolút foszfor mennyiségnél és legrosszabbul kevés foszforsavval (4., 7. kezelés). A nitrogén nagy abszolút mennyisége csökkent a nukleinsavak defoszforizálódását.

A 40 napos aerob érlelésnél a nukleinsavak defoszforizálódása kisebb, mint a 8 naposé és az anaerob érlelésé (4., 5., 6. ábra). Ebben az érlelési kísérletben a nukleín foszfor ásványosodása 33,62—17,72%. Az ásványosodás sorrendje kezelésként: 9., 2., 7., 8., 1., 5., 4., 3., 6.

A két szélső eredményt előidéző kezelési mód; szűk nitrogén : foszforsav arány nagy abszolút mennyiségekkel (9. kezelés), tág arány nagy abszolút nitrogén mennyiséggel (6. kezelés). Az ásványosodást tehát elsősorban a foszforsav nagy abszolút mennyisége segítette elő, a nitrogén : foszforsav arány csak másodlagos tényező, amint ezt a 6. és a 9. kezeléseknél láthatjuk.

A nuklein foszfor ásványosodását az anaerob érlelési kísérletben a foszforsav jelenléte és a cukor hiánya befolyásolta kedvezően. A legnagyobb volt az ásványosodás szűk nitrogén : foszforsav arány esetén cukor nélkül (3. kezelés). A két aerob érlelési kísérletben a nuklein foszfor ásványosodását elsősorban a foszforsav nagy abszolút mennyisége és csak másodsorban a nitrogén : foszforsav arány segítette elő.

Összehasonlítva a fitin és a nuklein foszfor ásványosodását, ill. szintézisét, mind a három érlelési kísérletben azt láthatjuk, hogy a fitin és a nukleinsav defoszforizálódásának a tényezői ellentétesek. Az anaerob érlelési kísérletben a cukor jelenléte a fitinnél ásványosítást eredményezett, szemben a cukornélküli kezelésekkel, amelyek szintézishez vezettek. A nuklein foszfornál ugyanebben a kísérletben a cukor jelenléte csökkentette az ásványosodás erélyét. Ugyanígy a foszforsav a fitinnél a szintézist növelte, a nuklein foszforsavnál pedig az ásványosodásra hatott kedvezően. A 8 napos aerob érlelési kísérletben a 3., 4., 6. kezelések kisfokú szintézist idéztek elő a fitin foszfornál és csökkent ásványosodást a nuklein foszfornál.

A 40 napos aerob érlelési kísérletben szintén élesen megmutatkozik a fitin és a nuklein foszfor ásványosításában ugyanazon tényező ellentétes hatása: a fitin csak a 3., 6. kezeléseknél defoszforizál, viszont a nuklein foszfor ennél a két kezelésnél ásványosodik legkevésbé.

Az anaerob és az aerob érlelési kísérletek biológiai átalakulása folyamán a szervesetlen foszforsav növekedett. A növekedést legnagyobb részben a nukleinsavak defoszforizálódása eredményezte és csak töredék részben a fitin foszforsav ásványosodása.

Az anaerob érlelési kísérlet a szervesetlen foszfort nagyobb mennyiséggel növelte, mint a két aerob érlelési kísérlet. A két aerob érlelésnél a legnagyobb értékben gyakorlatilag nincs különbség, a legkisebb értéknél azonban 2,81%-kal jobb a 40 napos aerob érlelés. A fitin foszforsav az anaerob és az aerob 40 napos érlelési kísérletben ásványosodott 2—2 kezelésnél. A többi kezelésnél és a 8 napos aerob érlelési kísérletben a fitin foszfor szintetizált. Az ásványosodás az anaerob érlelési kísérletben nagyobb, mint a 40 napos aerobban. A szintézis legkisebb az anaerob és legnagyobb a 8 napos aerob érlelési kísérletben.

A nuklein foszforsav ásványosodása legnagyobb mértékű volt az aerob 8 napos érlelési kísérletben. Az anaerob és az aerob 40 napos érlelés két szélső értékénél: a legnagyobbban 3,34% az eltérés, a legkisebbnél azonban gyakorlatilag különbség nincs.

Összefoglalás

Közepes humusztartalmú csernozjom talaj A szintjében a foszforfrakciók változását vizsgáltam egy anaerob és két aerob érlelési kísérletben. Az aerob kísérletekben az idő hatását is bekapcsoltam: az egyik kísérletben 8 napig, a másik kísérletben 40 napig érleltem a talajokat.

1. Az érlelések a kísérleti talaj szerves foszfortartalmában változásokat eredményeztek.

2. A kezelések közötti különbségek legjobban az aerob 8 napos érlelési kísérlet eredményeiben jelentkeztek.

3. A 8 és a 40 napos érlelési kísérletek eredményei szerint a biológiai átalakulások lényegében már 8 nap alatt lezajlottak.

4. A szervetlen foszfor növekedését legnagyobb részt a nukleinsavak defoszforizálódása és csak töredék részben a fitin foszfor ásványosodása eredményezte.

5. A nuklein foszfor mind a három érlelési kísérletben ásványosodott. Anaerob érlelésnél a kis abszolút mennyiségű, szűk nitrogén : foszforsav arány cukor nélkül, a 8 és a 40 napos aerob érlelésnél a foszforsav nagy abszolút mennyisége biztosította a legnagyobb ásványosodást.

6. A fitin foszforsav az anaerob és az aerob 40 napos érlelési kísérletben 2—2 kezelésnél ásványosodott, a többi kezelésnél, valamint a 8 napos aerob érlelés valamennyi kezelésénél szintetizált.

7. A fitin foszforsav legjobb ásványosodását az anaerob érlelésnél a cukor és az aerob 40 napos érlelésnél pedig a nagy abszolút mennyiségű nitrogén segítette elő.

8. A fitin foszfor szintézisét anaerob érlelésnél a nagyadagú nitrogén, nagy vagy kisadagú nitrogén mellett a foszforsav segíti elő, főként cukor nélkül. Az aerob 8 napos érlelésnél a tág nitrogén : foszforsav arányon belül a foszforsav nagy abszolút mennyisége, a 40 napos aerob érlelésnél szintén a foszforsav nagy abszolút mennyisége eredményez szintézist.

8. Az érleléseknél szerepet játszó tényezők az érlelési módtól és a folyamat irányától függően kedvezőek vagy kedvezőtlenek.

Érkezett : 1963. június 10.

Irodalom

- [1] ANDERSON, R. J.: Concerning the organic phosphoric acid compound of inositol triphosphate in wheat bran. *J. Biol. Chem.* **20**. 463—473. 1915.
- [2] BERTRAMSON, B. R. & STEPHENSON, R. E.: Comparative efficiency of organic phosphorus and of superphosphate in the nutrition of plants. *Soil Sci.* 215—226. 1942.
- [3] BLACK, C. A. & GORING, C. A. I.: Organic phosphorus in soils. In Pierre, W. H. & Norman, A. G.: *Soil and Fertilizer Phosphorus in Crop Nutrition*. Acad. Press. New York. 1953.
- [4] BOWER, C. A.: Separation and identification of phytin and its derivatives from soils. *Soil Sci.* **59**. 277—285. 1946.
- [5] BOWER, C. A.: Studies on the forms and availability of soil organic phosphorus. *Iowa State Coll. Agric. Res. Bull.* 362. 1949.
- [6] DYER, W. J. & WRENSHALL, C. L.: Organic phosphorus in soils: III. The decomposition of some organic phosphorus compounds in soil culture. *Soil Sci.* **51**. 323—329. 1941.
- [7] EID, M. T., BLACK, C. A. & KEMPTHORNE, O.: Importance of soil organic and inorganic phosphorus to plant growth at low and high soil temperatures. *Soil Sci.* **91**. 361—371. 1961.
- [8] KAILA, A.: Effect of incubation and liming on the phosphorus fractions in soil. *Maat. Aikak.* **33**. 185—193. 1961.
- [9] MEHTA, W. C.: Determination of organic phosphorus in soils. M. S. Thesis. Iowa State Coll. Ames. 1951.
- [10] PEARSON, R. W., NORMAN, A. G. & HO, CHUNG: The mineralization of the organic phosphorus of various compounds in soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **6**. 168—175. 1941.
- [11] PEDERSON, E. J. N.: On phytin phosphorus in the soil. *Plant and Soil.* **4**. 252. 1953.
- [12] STANFORD, G.: Soil management practices in relation to phosphorus availability and use. In: PIERRE, W. H. & NORMAN, A. G.: *Soil and Fertilizer Phosphorus in Crop Nutrition*. Acad. Press. New York. 1953.
- [13] WRENSHALL, C. L. & DYER, W. J.: Organic phosphorus in soils: II. The nature of the organic phosphorus compounds. A. Nucleic acid derivatives, B. Phytin. *Soil Sci.* **51**. 235—248. 1941.
- [14] YOSHIDA, R.: Studies on organic phosphorus compounds in soils: isolation of inositol. *Soil. Sci.* **50**. 81. 1940.

Биологическое превращение фосфорной кислоты в среднемощных черноземных почвах

И. ФАБРИ

Отдел почвоведения государственного института по контролю качества почв и с. х. продукции, Будапешт

Резюме

Биологическое превращение фосфорной кислоты в горизонте А среднемощной черноземной почвы изучалось в одном анаэробном и двух аэробных опытах по компостированию. В опытах проведенных в аэробных условиях исследовалось еще и влияние времени. Компостирование в первом опыте длилось 8 дней, во втором 40 дней.

В анаэробных условиях компостирования опыт длился 30 дней при температуре 28° С, в шести вариантах, показанных на рисунке 4.

В аэробных условиях компостирования инкубация длилась 8 и 40 дней при температуре 28° С в девяти вариантах, показанных на рисунках 5, 6.

1. Компостирование вызвало изменение содержания органического фосфора.
2. В 80 дневном опыте в аэробных условиях разницы между вариантами были небольшие.

3. Опыты по компостированию за 8 и 40 дней показали, что биологические процессы превращения в сущности заканчивались уже за первые 8 дней.

4. Увеличение содержания минерального фосфора вызывается главным образом дефосфоризацией нуклеиновых кислот, и в небольшой степени, минерализацией фитин-фосфора.

5. Во всех трех опытах по компостированию наблюдали минерализацию нуклеин-фосфора. При анаэробном компостировании небольшая минерализация наблюдалась при узком соотношении N/P без сахара, при аэробном компостировании в течение 8 и 40 дней большое количество P_2O_5 вызвало максимум минерализации.

6. Минерализация фитин-фосфора наблюдалась в двух-двух вариантах анаэробного и аэробного опыта (40 дней) компостирования, а у всех вариантов 80 дневного компостирования в аэробных условиях наблюдалось явление синтеза.

7. Усиленной минерализации фитин-фосфора при анаэробном компостировании способствовало применение сахара, а при аэробном компостировании (40 дней) применение большого количества азота.

8. Синтезу фитин-фосфора при анаэробном компостировании способствует большое количество азота, при большом или незначительном количестве азота-добавление фосфорной кислоты без сахара. При аэробном 8 дневном компостировании, при широком соотношении N: P_2O_5 добавление больших количеств P_2O_5 также способствует синтезу. При аэробном компостировании в течение 40 дней P_2O_5 в больших количествах вызывает синтез.

9. Факторы, играющие роль при компостировании могут быть благоприятными и неблагоприятными, в зависимости от способа компостирования и от направления процессов, протекающих при компостировании.

Табл. 1. Морфологическое описание почвы pH взятых для опыта почв. (1) Номер разреза и тип почвы. (2) Генетический горизонт (3) Глубина. (4) Окраска. (5) Физические константы. (6) Структура. (7) Величина pH. (8) Конкреции.

Табл. 2. Механический состав горизонтов А и В почвы опыта. (1) Генетический горизонт.

Рис. 1. Содержание органического (фитин, нуклеин) и минерального фосфора в почве. На вертикальной диаграммы показаны глубины взятия образцов и генетические горизонты, на горизонтальной оси-содержание фосфора в мг. 1: Минеральный фосфор. 2: Фитин-фосфор. 3: Нуклеин-фосфор.

Рис. 2. Содержание минерального и органического фосфора в % от общего содержания фосфора в изученной почве. На вертикальной оси графика-глубина разреза и генетические горизонты, на горизонтальной- содержание фосфора. 1: Минеральный фосфор. 2: Органический фосфор.

Рис. 3. Содержание фитин- и нуклеин-фосфора в % от общего фосфора почвы. На вертикальной оси-глубина разреза и генетические горизонты, на вертикальной оси-содержание фосфора. 1: Фитин-фосфор. 2: Нуклеин-фосфор.

Рис. 4. Варианты в анаэробном опыте компостирования и изменение фракций фосфорной кислоты в % от общего фосфора. На вертикальной оси показаны % фосфора, на горизонтальной-изменения во фракциях фосфора, вызванные под влиянием

отдельных вариантов. Под графиком, показывающим изменения фракций фосфора видны отдельные варианты, вызывающие изменения. 1: Азот. 2: Фосфор. 3: Сахар. 4: Минеральный фосфор. 5: Фитин-фосфор. 6: Нуклеин-фосфор.

Рис. 5. Варианты в 8 дневном аэробном опыте компостирования и изменение фракций фосфорной кислоты в % от общего фосфора. Принцип построения графика аналогичен графику рис. 4. 1: Азот. 2: Фосфорная кислота. 3: Минеральный фосфор. 4: Фитин-фосфор. 5: Нуклеин-фосфор.

Рис. 6. Варианты в 40 дневном аэробном опыте компостирования и изменение фракций фосфорной кислоты в % от общего фосфора. Принцип построения графика аналогичен графику рис. 4. 1: Азот. 2: Фосфорная кислота. 3: Минеральный фосфор. 4: Фитин-фосфор. 5: Нуклеин-фосфор.

Рис. 7. Содержание минерального и органического (фитин, нуклеин) фосфора в % от общего фосфора в изучаемой почве до и после анаэробного компостирования. На вертикальной оси — процент фосфора, на горизонтальной оси исходная почва (Е) и варианты. 1: Минеральный фосфор. 2: Нуклеин-фосфор. 3: Фитин-фосфор.

Рис. 8. Содержание минерального и органического (фитин, нуклеин) фосфора в % от общего содержания фосфора в изученной почве до и после 8 дневного аэробного компостирования. Принципы построения графика и обозначения такие же, как у графика на рис. 7.

Рис. 9. Содержание минерального и органического (фитин, нуклеин) фосфора в % от общего содержания фосфора в изученной почве до и после 40 дневного аэробного компостирования. Принципы построения графика и обозначения см на рис. 7.

La transformation biologique de l'acide phosphorique dans un chernozem à horizon humifère d'épaisseur moyenne

I. FÁBRY

Institut National des Recherches Qualitatives de l'Agriculture, Section des Sols, Budapest

Résumé

Nous avons étudié la transformation biologique de l'acide phosphorique dans l'horizon A d'un chernozem à couche humifère d'épaisseur moyenne dans une expérience à incubation anaérobie et deux expériences à incubation aérobie. Dans les expériences aérobies nous y avons aussi inclus l'effet du temps: dans une des expériences la durée de l'incubation a été de 8 jours, dans l'autre de 40 jours. Dans l'expérience d'incubation anaérobie l'incubation a duré 30 jours, à 28° C, selon les six traitements représentés par la figure 4. Dans les expériences d'incubation aérobie l'incubation a duré 8 et 40 jours, respectivement, à 28° C, selon les 9 sortes de traitements représentés par les figures 5 et 6.

1. L'incubation a causé changements dans la teneur en acide phosphorique organique du sol.
2. Les différences ont été les plus prononcées dans l'expérience d'incubation aérobie de 8 jours.

3. Selon les résultats des expériences de 8 et 40 jours les transformations biologiques se sont déroulées essentiellement déjà en 8 jours.

4. L'augmentation de l'acide phosphorique inorganique était due pour la grande part à la déphosphorylation des acides nucléiniques et seulement pour une petite part à la minéralisation du phosphore de la phytine.

5. L'acide phosphorique nucléinique a été minéralisée dans tous les trois expériences. Dans le cas de l'incubation anaérobie c'est la petite quantité absolue d'acide phosphorique, la relation étroite azote: acide phosphorique, sans sucre, qui a assuré la plus grande minéralisation, dans les incubations aérobies de 8 et 40 jours c'est la grande quantité absolue de l'acide phosphorique qui a eu le même effet.

6. L'acide phosphorique de la phytine a été minéralisée dans 2—2 traitements de l'expérience anaérobie et dans celle aérobie de 40 jours, dans les autres traitements et dans tous les traitements de l'expérience aérobie de 8 jours, l'acide phosphorique est entré en synthèse.

7. La plus forte minéralisation de l'acide phosphorique de la phytine a été assurée, dans le cas de l'incubation anaérobie par du sucre, et dans le cas de l'incubation aérobie de 40 jours, par a grande quantité absolue d'azote.

8. La synthèse du phosphore de la phytine est activée dans le cas de l'incubation anaérobie, par l'abondance de l'azote; elle est aussi activée par l'acide phosphorique avec beaucoup ou peu d'azote, surtout sans sucre. Dans les cas de l'incubation aérobie de 8 jours c'est la grande quantité absolue d'acide phosphorique, par un rapport large d'azote: acide phosphorique, qui favorise la synthèse, dans le cas de l'incubation aérobie de 40 jours c'est de même.

9. Les facteurs qui jouent un rôle dans l'incubation ont un effet favorable ou défavorable selon le mode de l'incubation et la direction du processus.

Tableau 1. Données de examination sur place du sol de l'expérience et sa réaction. (1) No. du profil, son type. (2) Horizon génétique. (3) Profondeur. (4) Couleur. (5) Variété physique du sol. (6) Structure. (7) Réaction. (8) Concrétions.

Tableau 2. Composition granulométrique des horizons A, B du sol. (1) Horizon génétique.

Fig. 1. Teneur du sol en acide phosphorique inorganique, organique (phytine, nucléines). Axe vertical: profondeur du profil et horizons génétiques, axe horizontal: teneur en acide phosphorique mg. 1: Acide phosphorique inorganique, 2: acide phosphorique de la phytine et 3: des nucléines.

Fig. 2. Teneur en acide phosphorique inorganique et organique du sol en pourcent de l'acide phosphorique total. Axe vertical: profondeur du profil et horizons génétiques, axe horizontal: teneur en acide phosphorique. 1: Acide phosphorique inorganique, 2: organique.

Fig. 3. Teneur du sol en acide phosphorique phytinique et nucléinique en pourcent de l'acide phosphorique total. Axe vertical: profondeur du profil et horizons génétiques, axe horizontal: teneurs en acide phosphorique. 1: Phosphore phytinique, 2: nucléinique.

Fig. 4. Traitements de l'expérience d'incubation anaérobie et changements des fractions phosphatiques en pourcent du phosphore total. Axe vertical: acide phosphorique pourcent, axe horizontal: changements survenus dans les fractions phosphatiques sous l'effet des divers traitements. Sous la figure représentant les changements des fractions phosphatiques sont énumérés les traitements causes des changements. 1: Azote, 2: acide phosphorique, 3: sucre, 4: acide phosphorique inorganique, 5: phytinique, 6: nucléinique.

Fig. 5. Traitements de l'expérience d'incubation aérobie de 8 jours et changements des fractions phosphatiques en pourcent du phosphore total. Composition de la figure la même que fig. 4. 1: Azote, 2: acide phosphorique, 3: acide phosphorique inorganique, 4: phytinique, 5: nucléinique.

Fig. 6. Traitements de l'expérience d'incubation aérobie de 40 jours et changements des fractions phosphatiques en pourcent du phosphore total. Composition de la figure la même que fig. 4. 1: Azote, 2: acide phosphorique, 3: acide phosphorique inorganique, 4: phytinique, 5: nucléinique.

Fig. 7. Teneur en acide phosphorique inorganique et organique (phytine, nucléines) du sol, avant et après incubation (anaérobie), en pourcent du phosphore total. Axe vertical: phosphore pourcent, axe horizontal: le sol originel (E) et les traitements. 1: Acide phosphorique inorganique, 2: phosphore nucléinique, 3: phosphore phytinique.

Fig. 8. Teneur en acide phosphorique inorganique et organique (phytine, nucléines), du sol, avant et après incubation (8 jours aérobie) en pourcent du phosphore total. Composition de la figure la même que fig. 7.

Fig. 9. Teneur en acide phosphorique inorganique et organique (phytine, nucléines), du sol, avant et après incubation (40 jours aérobie) en pourcent du phosphore total. Composition de la figure la même que fig. 7.